

**ANALISIS HASIL PENGUJIAN TAHANAN ISOLASI TRANSFORMATOR DAYA
BERDASARKAN HASIL UJI INDEKS POLARISASI, TANGEN DELTA, RASIO
TEGANGAN, BDV(*BREAK DOWN VOLTAGE*)**



**Disusun sebagai salah satu syarat menyelesaikan Program Studi Strata I pada
Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik**

Oleh:

TOMY ADI SAPUTRO

D 400 140 050

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SURAKARTA
2018**

HALAMAN PERSETUJUAN

**ANALISIS HASIL PENGUJIAN TAHANAN ISOLASI TRANSFORMATOR DAYA
BERDASARKAN HASIL UJI INDEKS POLARISASI, TANGEN DELTA, RASIO
TEGANGAN, BDV(*BREAK DOWN VOLTAGE*)**

PUBLIKASI ILMIAH

oleh:

TOMY ADI SAPUTRO
D 400 140 050

Telah diperiksa dan disetujui untuk diuji oleh:

Dosen Pembimbing



Agus Supardi S.T., M.T.
NIK.883

HALAMAN PENGESAHAN

**ANALISIS HASIL PENGUJIAN TAHANAN ISOLASI TRANSFORMATOR DAYA
BERDASARKAN HASIL UJI INDEKS POLARISASI, TANGEN DELTA, RASIO
TEGANGAN, BDV(BREAK DOWN VOLTAGE)**

OLEH

TOMY ADI SAPUTRO
D 400 140 050

**Telah dipertahankan di depan Dewan Penguji
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Muhammadiyah Surakarta
Pada hari Rabu, 18 Juli 2018
dan dinyatakan telah memenuhi syarat**

Dewan Penguji:

1. Agus Supardi, S.T., M.T.

(Ketua Dewan Penguji)

2. Umar, S.T., M.T.



(Anggota I Dewan Penguji)

3. Aris Budiman, S.T., M.T.

(Anggota II Dewan Penguji)

(.....)
(.....)
(.....)

Dekan,



Ir. Sri Sunarjono, M.T., Ph.D.
NIK. 682

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam naskah publikasi ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu perguruan tinggi dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam naskah dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Apabila kelak terbukti ada ketidakbenaran dalam pernyataan saya di atas, maka akan saya pertanggungjawabkan sepenuhnya.

Surakarta, 18 Juli 2018

Penulis



TOMY ADI SAPUTRO

D 400 140 050

ANALISIS HASIL PENGUJIAN TAHANAN ISOLASI TRANSFORMATOR DAYA BERDASARKAN HASIL UJI INDEKS POLARISASI, TANGEN DELTA, RASIO TEGANGAN, BDV(*BREAK DOWN VOLTAGE*)

Abstrak

Transformator daya merupakan peralatan utama dalam sistem tenaga listrik yang berhubungan langsung dengan sistem transmisi dan distribusi listrik. Salah satu bagian yang paling penting dari transformator daya adalah sistem isolasinya. Seiring dengan usia dan pengoperasiannya kondisi isolasi dapat mengalami pemburukan yang dapat menyebabkan kegagalan operasi dan kerusakan pada transformator. Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui kondisi kualitas tahanan isolasi pada transformator daya. Metode dalam penelitian ini berupa studi literatur digunakan penulis untuk memperdalam materi terkait judul penelitian dan pengambilan data di Gardu Induk Wonosari dan Gardu Induk Sragen. Data yang di ambil berupa hasil pengujian indeks polarisasi, rasio tegangan, tangen delta, dan pengujian tegangan tembus minyak. Setelah data terkumpul selanjutnya dilakukan perhitungan dan dianalisis untuk mendapatkan hasil yang lebih baik. Hasil pengujian pada Gardu Induk Wonosari menunjukkan nilai indeks polarisasi terjadinya pemburukan pada *ground-primary* sebesar 0,95. Hasil pengujian rasio tegangan menunjukkan kondisi yang masih bagus dengan nilai rata-rata dibawah 0,5%. Hasil pengujian tangen delta menunjukkan terjadinya pemburukan pada mode CL sebesar 0,83-1,65%. Hasil pengujian minyak rata-rata menunjukkan kondisi yang masih bagus yaitu minyak bawah 64,5kV dan minyak oltc 54,4kV. Hasil pengujian pada Gardu Induk Sragen menunjukkan nilai indeks polarisasi yang masih bagus nilai rata-rata di atas 1,1-1,25. Hasil pengujian rasio tegangan menunjukkan kondisi yang masih bagus dengan nilai rata-rata dibawah 0,5%. Hasil pengujian tangen delta menunjukkan terjadinya penurunan tan delta negatif pada mode (UST) yaitu sebesar -0,12% dan sedikit terjadi pemburukan pada mode CL sebesar 0,55%. Hasil pengujian minyak rata-rata menunjukkan kondisi yang masih bagus yaitu minyak bawah 86,4kV dan minyak oltc 85,2kV.

Kata kunci : pengujian tahanan isolasi, indeks polarisasi, rasio tegangan, tangen delta.

Abstract

Power transformer is main equipment in electric power systems that connect directly with electrical transmission and distribution systems. One of the most important parts of a power transformer is isolation system. As the age and operation of the insulation conditions can worsening which can cause operational failure and damage to the transformer. The purpose of this research is knowing the quality condition of insulation resistance in the power transformer. Method used in this study the form of literature study by the author to deepen the material related to the title of research and data retrieval in the Main Substation Wonosari and Substation Sragen. The Data taken in form of polarization index test results, voltage ratio, tangent delta, and testing of oil breakdown voltage. After the data collected, then done the calculation and analyzed to get better results. Test results at the Wonosari Mainstay shows the value of polarization index on the ground-primary deterioration of 0,95. The result voltage of ratio test shows good condition with average value below 0,5%. The result of tangent delta test indicates the occurrence of worsening in CL mode 0,83-

1,65%. Average oil test results show good condition that is oil bottom 64,5kV and oil oltc 54,4kV. The results of the test at the Sragen Substation shows the value of the polarization index still good average value above 1,1-1,25. The result of voltage ratio test shows good condition with average value below 0,5%. The result of delta tangent test shows the decrease of negative delta tan in mode (UST) that is equal to -0.12% and slightly worsening in CL mode by 0,55%. Average oil test results show good condition that is oil bottom 86,4kV and oil oltc 85,2kV.

Keywords: testing of isolation resistance, polarization indexes, voltage ratio, tangent delta.

1. PENDAHULUAN

Saat ini kebutuhan listrik menjadi salah satu bagian kebutuhan pokok bagi kehidupan manusia. Hampir semua manusia setiap harinya membutuhkan energi listrik. Semakin lama kebutuhan listrik di Indonesia semakin meningkat dan tidak hanya untuk kebutuhan pribadi tetapi juga untuk kebutuhan umum seperti lampu penerangan jalan dan lampu lalu lintas yang semakin bertambah dengan kemajuan infrastruktur di berbagai daerah. Untuk memenuhi banyaknya kebutuhan energi listrik maka dibutuhkan sistem ketenagalistrikan yang handal, seperti transformator daya yang ada di gardu induk.

Transformator daya merupakan peralatan utama dalam sistem tenaga listrik, karena berhubungan langsung dengan sistem transmisi dan distribusi listrik. Transformator daya berfungsi untuk mengubah daya listrik dari tegangan tinggi ke tegangan rendah atau dari tegangan rendah ke tegangan yang lebih tinggi. Gangguan yang terjadi pada transformator dapat mengakibatkan terputusnya daya listrik ke konsumen, oleh karena itu perawatan dan pengujiannya perlu dilakukan secara rutin agar transformator dapat beroperasi sesuai masa pemakaian maksimumnya.

Salah satu bagian yang paling penting dari transformator daya adalah sistem isolasinya. Isolasi trafo berfungsi untuk memisahkan dua bagian yang bertegangan. Seiring dengan usia pengoperasiannya kondisi isolasi transformator dapat mengalami pemburukan. Pemburukan isolasi dapat menyebabkan kegagalan operasi dan kerusakan pada transformator. Hal ini dapat disebabkan oleh beberapa faktor seperti tegangan lebih, kelembaban, suhu operasi yang tinggi maupun kerusakan mekanis. Untuk mencegah kegagalan transformator saat beroperasi, beberapa pengujian penting lebih sering dilibatkan untuk menentukan status kondisinya, sehingga kegagalan operasi dapat dihindarkan sebelum terjadi kerusakan pada transformator (Shrikant et al., 2015).

Salah satu metode pengujian untuk mengetahui proses pemburukan isolasi termasuk pengujian tahanan isolasi belitan, ratio tegangan, tangen delta (faktor disipasi), dan pengujian minyak BDV (*break down voltage*). Pada pengujian tangen delta ada beberapa mode pengujian

yaitu GST (*Grounded Speciment Test*), UST (*Ungrounded Specimen Test*), GSTg (*Grounded Specimen Test with guard*) (PT. PLN Persero, 2006). Dalam penelitian ini penulis akan melakukan analisis terhadap hasil pengujian tahanan isolasi pada transformator daya di Gardu Induk Sragen dan Gardu Induk Wonosari untuk mengetahui kondisi isolasi transformator selama masih beroperasi.

2. METODE

2.1 Tempat dan waktu penelitian

Penelitian ini akan dilakukan di PT. PLN (Persero) Trans JBT APP Salatiga yaitu di GI Wonosari dan GI Sragen. Penelitian dan pembuatan laporan dapat diselesaikan dalam jangka waktu sekitar 4 bulan.

2.2 Tahap penelitian

Tahapan penelitian yang dilakukan oleh penulis menggunakan metode sebagai berikut:

a. Studi Literatur

Studi literatur dilakukan penulis untuk mencari referensi-referensi yang ada baik berupa buku maupun artikel ilmiah yang berhubungan dengan penyelesaian laporan ini.

b. Perijinan dan pengambilan data penelitian

Dalam hal ini penulis melakukan perijinan kepada PT. PLN (Persero) Trans JBT APP Salatiga di GI Wonosari dan GI Sragen, untuk pengambilan data pengujian tahanan isolasi dan *single line diagram* kelistrikan transformator yang akan digunakan untuk pembuatan laporan.

c. Analisis Data

Penulis menganalisis data yang diperoleh dari proses pengambilan data untuk mengetahui perubahan kualitas kondisi isolasi pada transformator daya selama trafo masih beroperasi.

d. Pengujian

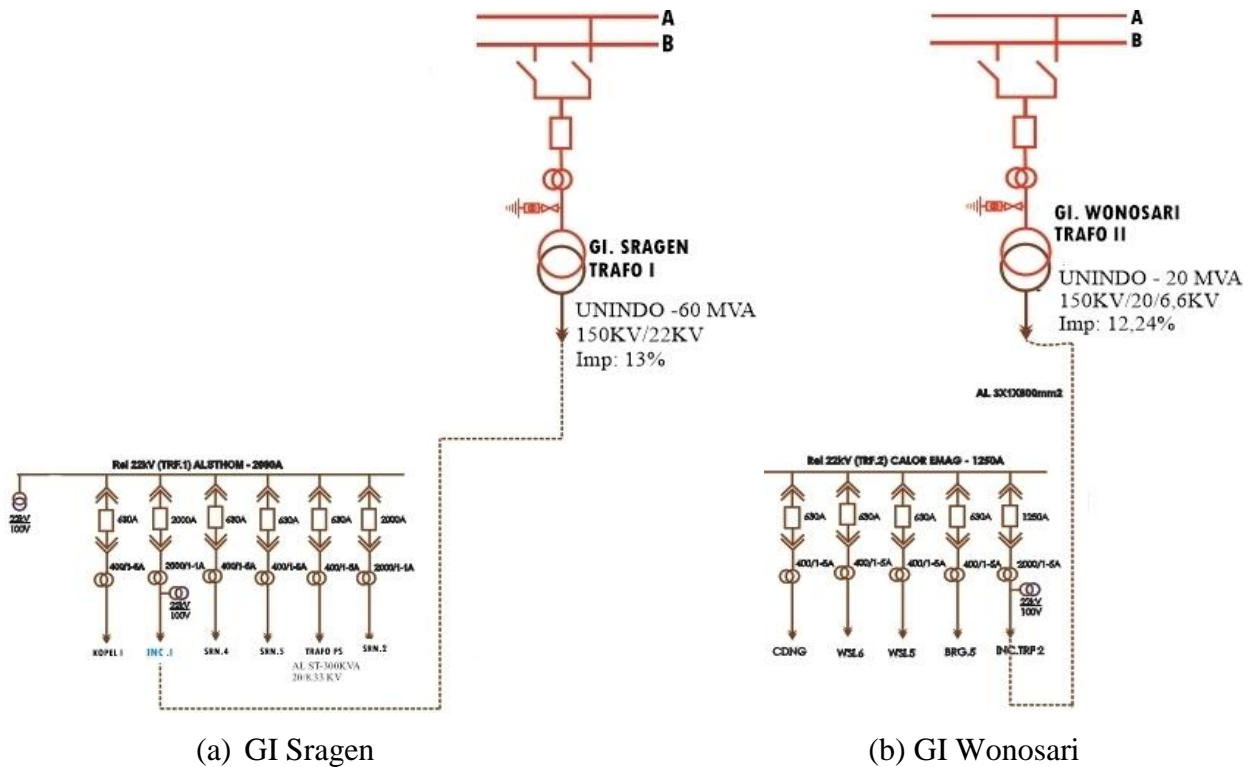
Pengujian dilakukan untuk mengetahui nilai yang akan digunakan untuk memberikan hasil yang lebih baik.

e. Penyelesaian laporan

Setelah data didapat dan dianalisis, laporan akan diselesaikan untuk pengambilan kesimpulan dan pemberian saran.

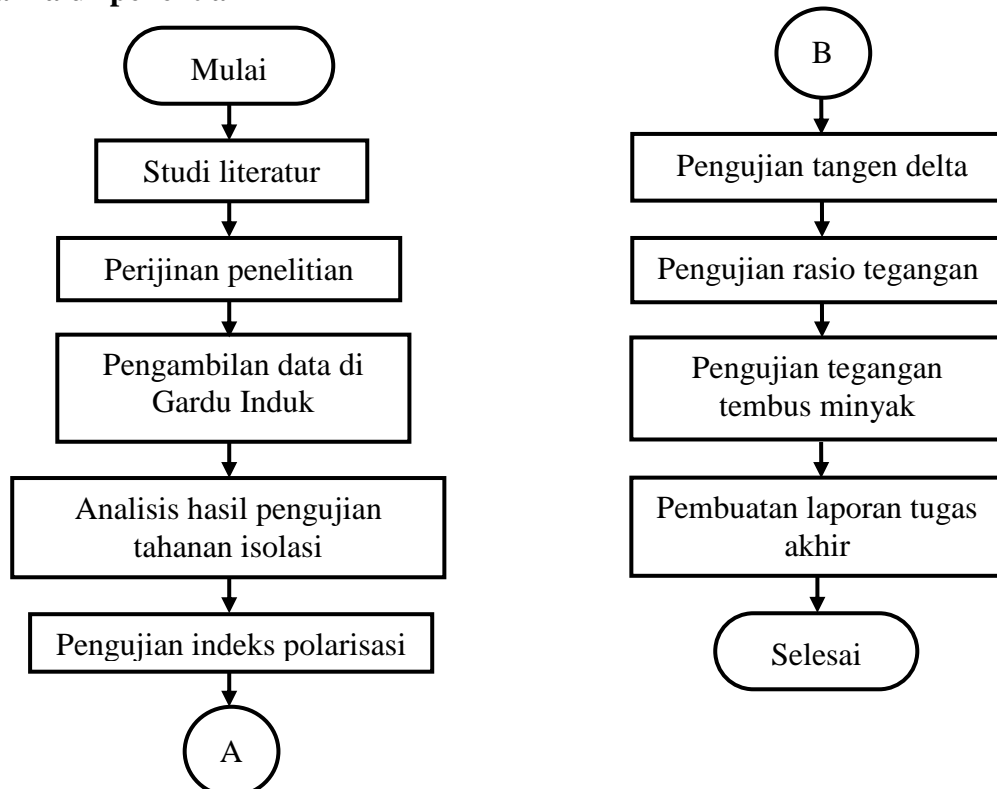
2.3 Single line diagram kelistrikan trasformator daya

Pada penelitian ini *single line diagram* transformator daya diperoleh dari PT PLN (Persero) GI Wonosari dan GI Sragen :



Gambar 1. *Single line diagram* kelistrikan transformator

2.4 Diagram alur penelitian



Gambar 2. Diagram alur penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dan pembahasan dari penelitian ini diperoleh data-data yang berkaitan dengan tujuan dari penelitian yaitu pengujian tahanan isolasi yang dilakukan di PT PLN (Persero) Gardu Induk Wonosari dan Gardu Induk Sragen. Data yang diambil meliputi tahanan isolasi belitan, rasio tegangan, tangen delta, dan pengujian minyak BDV (*break down voltage*). Setelah data terkumpul akan dianalisis untuk mengetahui perbandingan tahanan isolasi pada transformator di gardu induk yang berbeda.

3.1 Analisis Tahanan Isolasi Transformator

Pengujian tahanan isolasi belitan mengacu pada indeks polarisasi dihitung berdasarkan hasil uji resistansi insulasi (Marques et al., 2017). Tujuan pengujian tahanan isolasi untuk mengetahui besar (nilai) kebocoran arus (*leakage current*) yang terjadi antara dua belitan atau belitan dengan *ground*. Metode pengujiannya dengan memberikan tegangan dc dan membandingkan hasil pengukuran saat menit ke 10 dengan menit ke 1, alat yang digunakan berkapasitas 500, 1000, dan 2500 Vdc. Nilai indeks polarisasi yang semakin besar akan semakin bagus. Jika nilainya terlalu rendah berarti kondisi isolasi mengalami pemburukan. Tangen delta atau uji faktor disipasi bertujuan untuk mengetahui kondisi karakteristik isolasi telah memburuk atau tidak (Mustafa et al., 2017). Pada kapasitor sempurna, arus dan tegangan bergeser 90° dan arus yang melewati isolasi merupakan kapasitif. Jika terjadi kontaminasi pada isolasi, maka nilai tahanan isolasi akan menurun dan arus resistif yang melewati isolasi tersebut semakin besar. Kondisi tangen delta dapat diketahui dengan menghitung nilai *power factor correction*, jika nilainya semakin kecil maka kondisinya masih dalam keadaan baik atau sebaliknya. Rasio tegangan adalah metode pengujian untuk mengetahui perbandingan tegangan nilai awal dengan nilai uji terakhir. Perbandingan nilai rasio adalah 0,5% dari rasio tegangan *name plate* IEC 76 (1976). Pengujian tegangan tembus dilakukan untuk mengetahui kemampuan minyak isolasi dalam menahan tegangan. Minyak yang jernih akan menunjukkan nilai tegangan tembus yang tinggi IEC (60156). Minyak transformator membantu mendinginkan panas transformator dan juga berfungsi sebagai cairan isolasi pada transformator (Hamid et al., 2016).

3.2 Data Perhitungan Hasil Uji Tahanan Isolasi

1. Spesifikasi Transformator

Tabel 1. Spesifikasi Transformator GI Wonosari

<i>Merk</i>	UNINDO	<i>Circuit Designation</i>	BAY TRAFO 2
<i>Yr. Manufactured</i>	1994	<i>Configuration</i>	Y-Y-D
<i>VA Rating</i>	20 MVA	<i>Oil volume</i>	14000 kg

<i>kV Voltage</i>	150, 22,	<i>Class</i>	ONAN/ONAF
<i>Serial Number</i>	9415162	<i>Impedansi</i>	12,24%

Tabel 2. Spesifikasi Transformator GI Sragen

<i>Merk</i>	UNINDO	<i>Circuit Designation</i>	BAY TRAFO 1
<i>Yr. Manufactured</i>	2011	<i>Configuration</i>	D-D-Y
<i>VA Rating</i>	60 MVA	<i>Oil volume</i>	20700 kg
<i>kV Voltage</i>	150, 20,	<i>Class</i>	ONAN/ONAF
<i>Serial Number</i>	3011100077	<i>Impedansi</i>	13%

2. Indeks Polarisasi

Tabel 3. Data uji indeks polarisasi transformator di GI Wonosari

No	Aktifitas	Hasil Uji 2015			Hasil Uji 2017		
		1 Min	10 Min	IP	1 Min	10 Min	IP
1	<i>Primary- Ground</i>	3,130	4,250	1,35	14,56	13,96	0,95
	<i>Sekundary-Ground</i>	5,430	8,400	1,54	6,046	9,76	1,6
	<i>Tertier-Ground</i>	1,32	1,88	1,42	5,676	10,66	1,86
	<i>Primary-Sekundary</i>	2,190	5,150	2,45	7,546	16,86	2,2
	<i>Primary-Tertier</i>	2,18	6,145	2,81	8,16	17,46	2,14
	<i>Sekundary-Tertier</i>	1,35	1,90	1,41	6,376	61,96	9,71
	<i>Primary & Sekundary-Tertier</i>	2,030	5,290	1,75	8,17	18,06	2,21
2	Tahanan pentanahan	0,5Ω					

Tabel 4. Data uji indeks polarisasi transformator di GI Sragen

No	Aktifitas	Hasil Uji 2014			Hasil Uji 2018		
		1 Min	10 Min	IP	1 Min	10 Min	IP
1	<i>Primary- Ground</i>	6550	12800	1,95	8,52	13,0	1,52
	<i>Sekundary-Ground</i>	8430	15900	1,88	11,2	16,2	1,44
	<i>Tertier-Ground</i>	7980	14400	1,80	10,7	14,0	1,30
	<i>Primary-Sekundary</i>	10600	18900	1,78	11,7	17,0	1,45
	<i>Primary-Tertier</i>	11900	22000	1,84	8,85	15,5	1,75
	<i>Sekundary-Tertier</i>	10000	18600	1,86	9,87	15,8	1,57
	<i>Primary & Sekundary-Tertier</i>	6330	6430	1,01	7,56	16,9	2,24
2	Tahanan pentanahan	0,2Ω					

Perhitungan indeks polarisasi menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$IP = \frac{R_{10}}{R_1} \dots \dots \dots (1)$$

Keterangan :

IP = Indeks Polarisasi

R₁₀ = Pengujian saat menit ke-10

R₁ = Pengujian saat menit ke-1

Perhitungan indeks polarisasi *primary-ground* pada tabel.3 GI Wonosari :

$$IP = \frac{4,250}{3,130}$$

$$= 1,35$$

Perhitungan indeks polarisasi *primary-ground* pada tabel.4 GI Sragen :

$$IP = \frac{12800}{6550}$$

$$= 1,95$$

Nilai standart indeks polarisasi yang diijinkan menurut (Buku O&M Trafo) sebagai berikut :

- < 1,0 = Berbahaya (investigasi)
- 1,0 – 1,1 = Jelek (investigasi)
- 1,1 – 1,25 = Dipertanyakan (uji kadar minyak, uji tan delta)
- 1,25– 2,0 = Baik
- > 2,0 = Sangat Baik

3. Rasio Tegangan

Tabel 5. Data uji rasio tegangan di GI Wonosari

Posisi Tap	Teg <i>Name Plate</i> (V)		<i>Ratio Name plate</i>	Hasil Pengukuran					
	Primer	Sekunder		Rasio (K)			Deviasi (%)		
				R	S	T	R	S	T
1	165750	22000	7,5341	7,5412	7,5414	7,5458	0,09	0,10	0,16
2	163500	22000	7,4318	7,4390	7,4389	7,4480	0,10	0,10	0,15
3	161250	22000	7,3295	7,3368	7,3372	7,3417	0,10	0,11	0,17
4	159000	22000	7,2273	7,2343	7,2348	7,2389	0,10	0,10	0,16
5	156750	22000	7,1250	7,1319	7,1326	7,1362	0,10	0,11	0,16
6	154500	22000	7,0227	7,0298	7,0299	7,0333	0,10	0,10	0,15

7	152250	22000	6,9205	6,9278	6,9281	6,9320	0,11	0,11	0,17
8	150000	22000	6,8182	6,8252	6,8243	6,8292	0,10	0,10	0,16
9	147750	22000	6,7159	6,7224	6,7227	6,6248	0,10	0,10	0,16
10	145500	22000	6,6136	6,6203	6,6206	6,6248	0,10	0,11	0,17
11	143250	22000	6,5114	6,5172	6,5172	6,5214	0,09	0,09	0,15
12	141000	22000	6,4091	6,4151	6,4158	6,4189	0,09	0,10	0,15
13	138750	22000	6,3068	6,3124	6,3128	6,3150	0,09	0,10	0,14
14	136500	22000	6,2045	6,2110	6,2109	6,2102	0,10	0,10	0,16
15	135250	22000	6,1023	6,1079	6,1081	6,1128	0,09	0,10	0,17
16	132000	22000	6,0000	6,0082	6,0083	6,0125	0,14	0,14	0,21
17	129750	22000	5,8977	5,9056	5,9053	5,9102	0,14	0,14	0,21
18	127500	22000	5,7955	5,8032	5,8030	5,8082	0,14	0,13	0,22

Tabel 6. Data uji rasio tegangan di GI Sragen

Posisi Tap	Teg <i>Name Plate</i> (V)		<i>Ratio Name plate</i>	Hasil Pengukuran					
	Primer	Sekunder		Rasio (K)			Deviasi (%)		
				R	S	T	R	S	T
1	165000	20000	8,2500	8,2836	8,2815	8,2851	0,41	0,38	0,43
2	163125	20000	8,1563	8,1895	8,1865	8,1901	0,41	0,37	0,42
3	161250	20000	8,0625	8,0932	8,0918	8,0944	0,38	0,36	0,40
4	159375	20000	7,9688	7,9985	7,9963	7,9981	0,37	0,35	0,37
5	157500	20000	7,8750	7,9018	7,9007	7,9036	0,34	0,33	0,36
6	155625	20000	7,7813	7,8071	7,8066	7,8085	0,33	0,33	0,35
7	153750	20000	7,6875	7,7126	7,7112	7,7127	0,33	0,31	0,33
8	151875	20000	7,5938	7,6174	7,6153	7,6177	0,31	0,28	0,32
9	150000	20000	7,5000	7,5217	7,5207	7,5225	0,29	0,28	0,30
10	148125	20000	7,463	7,4270	7,4256	7,4274	0,28	0,26	0,29

11	146250	20000	7,3125	7,3315	7,3299	7,3308	0,26	0,24	0,25
12	144375	20000	7,2188	7,2363	7,2349	7,2356	0,14	0,22	0,23
13	142500	20000	7,1250	7,1405	7,1391	7,1407	0,22	0,20	0,22
14	140625	20000	7,0313	7,0451	7,0436	7,0456	0,20	0,18	0,20
15	138750	20000	6,9375	6,9507	6,9496	6,9510	0,19	0,17	0,19
16	136875	20000	6,8438	6,8553	6,8538	6,8552	0,17	0,15	0,17
17	135000	20000	6,7500	6,7601	6,7591	6,7600	0,15	0,13	0,15

Persamaan rumus dasar transformator :

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2} = K \dots \dots \dots (2)$$

Keterangan :

N_2 = Banyaknya belitan sisi sekunder

N_1 = Banyaknya belitan sisi primer

E_1 = Tegangan pada sisi primer

E_2 = Tegangan pada sisi sekunder

K = Konstanta (rasio transformator)

Perhitungan deviasi menggunakan persamaan berikut :

$$DIFF = \frac{K - K_{name\ plate}}{K_{name\ plate}} \times 100\% \dots \dots \dots (3)$$

Keterangan :

DIFF : Deviasi (%)

K : Konstanta (rasio transformator)

$K_{name\ plate}$: *Ratio name plate*

Perhitungan rasio transformator pada tabel.5

GI Wonosari saat posisi tap 1 sebagai berikut:

Mencari *ratio name plate*

$$K_{name\ plate} = \frac{165750}{22000} \\ = 7,5341$$

Perhitungan rasio transformator pada tabel.6

GI Sragen saat posisi tap 1 sebagai berikut :

Mencari *ratio name plate*

$$K_{name\ plate} = \frac{165000}{20000} \\ = 8,2500$$

Menghitung Deviasi (%)

$$R = \frac{7,5412 - 7,5341}{7,5341} \times 100\% \\ = 0,9\%$$

$$S = \frac{7,5414 - 7,5341}{7,5341} \times 100\% \\ = 0,10\%$$

$$T = \frac{7,5458 - 7,5341}{7,5341} \times 100\% \\ = 0,16\%$$

Menghitung Deviasi (%)

$$R = \frac{8,2836 - 8,2500}{8,2500} \times 100\% \\ = 0,41\%$$

$$S = \frac{8,2815 - 8,2500}{8,2500} \times 100\% \\ = 0,38\%$$

$$T = \frac{8,2851 - 8,2500}{8,2500} \times 100\% \\ = 0,43\%$$

Nilai standart deviasi perbandingan rasio tegangan yang diijinkan menurut IEC 76 (1976) adalah 0,5% dari rasio tegangan *name plate*.

4. Tangen Delta

Tabel 7. Data uji tangen delta di GI Wonosari

Pengukuran	Test kV	mA	Watts	PF (%)	Corr Fctr	Cap (pF)
CH+CHL	10,001	36,835	0,9090	0,30	0,93	9775,3
CH	10,001	11,931	0,3060	0,39	0,93	3164,6
CHL(UST)	10,000	24,909	0,5790	0,27	0,93	6607,1
CHL	10,000	24,922	0,603	0,29	0,93	6610,700
CL+CLT	10,000	50,432	1,289	0,30	0,93	13377,4
CL	10,000	3,090	0,2760	0,83	0,93	819,49
CLT(UST)	10,000	47,330	1,008	0,20	0,93	12554,2
CLT	10,000	47,342	1,013	0,20	0,93	12557,910
CT + CHT	10,000	29,110	1,023	0,33	0,93	7721,4
CT	10,000	28,647	1,022	0,33	0,93	7598,5
CHT (UST)	10,000	0,4590	0,0060	0,15	0,93	121,76
CHT	10,000	0,463	0,001	0,02	0,93	122,900

Tabel 8. Data uji tangen delta di GI Wonosari

Pengukuran	Test kV	mA	Watts	PF (%)	Corr Fctr	Cap (pF)
CH+CHL	10,000	30,576	0,7850	0,25	0,93	9831,3
CH	10,000	9,926	0,29000	0,28	0,93	3191,3

CHL(UST)	10,000	20,629	0,4860	0,23	0,93	6632,6
CHL	10,000	20,650	0,495	0,22	0,93	6640,000
CL+CLT	10,000	41,181	1,266	0,29	0,93	13240,2
CL	10,000	2,532	0,4480	1,65	0,93	814,02
CLT(UST)	10,000	38,623	0,8240	0,20	0,93	12418,1
CLT	10,000	38,649	0,818	0,20	0,93	12416,180
CT + CHT	5,000	24,185	0,8660	0,33	0,93	7776,3
CT	5,000	23,810	0,8660	0,33	0,93	7655,2
CHT (UST)	5,000	0,3760	0,0040	0,10	0,93	120,76
CHT	10,000	0,375	0,000	0,00	0,93	121,100

Tabel 9. Data uji tangen delta di GI Sragen

Pengukuran	Test kV	mA	Watts	PF (%)	Corr Fctr	Cap (pF)
CH+CHL	10,001	40,141	0,7900	0,19	0,89	12906,2
CH	10,000	12,925	0,5110	0,39	0,89	4155,7
CHL(UST)	10,000	27,195	0,2860	0,10	0,89	8743,9
CHL	10,000	27,216	0,279	0,09	0,89	8750,500
CL+CLT	10,000	63,556	1,066	0,15	0,89	20434,7
CL	10,000	4,867	0,2730	0,55	0,89	1564,9
CLT(UST)	10,000	58,673	0,7860	0,12	0,89	18864,9
CLT	10,000	58,689	0,793	0,12	0,89	18869,800
CT + CHT	2,000	73,225	1,283	0,16	0,89	23543,7
CT	2,000	72,932	1,277	0,16	0,89	23449,2
CHT (UST)	2,000	0,2970	0,0060	0,18	0,89	95,529
CHT	10,000	0,293	0,006	0,18	0,89	94,500

Tabel 10. Data uji Tangen Delta di GI Sragen

Pengukuran	Test kV	mA	Watts	PF (%)	Corr Fctr	Cap (pF)
CH+CHL	10,001	40,328	0,6402	0,16	0,72	12682,00
CH	10,000	12,978	0,3112	0,24	0,72	4136,32
CHL(UST)	10,000	27,438	0,3249	0,12	0,72	8753,77
CHL	10,000	27,350	0,329	0,11	0,72	8745,66
CL+CLT	10,000	64,206	1,0711	0,17	0,72	20443,07

CL	10,000	4,837	0,1827	0,38	0,72	1541,53
CLT(UST)	10,000	59,343	0,8602	0,15	0,72	18917,99
CLT	10,000	59,371	0,688	0,12	0,72	16901,55
CT + CHT	10,000	74,374	1,3289	0,18	0,72	23661,77
CT	10,000	73,691	1,3245	0,18	0,72	23577,59
CHT (UST)	10,000	0,298	-0,0036	-0,12	0,72	94,91
CHT	10,000	0,484	0,005	0,24	0,72	64,18

Keterangan pengukuran pada tabel di atas :

CH : *Capacitance high*

CHL : *Capacitance high low*

CL : *Capacitance low*

CT : *Capacitance tersier*

CHT : *Capacitance high tersier*

CLT : *Capacitance low tersier*

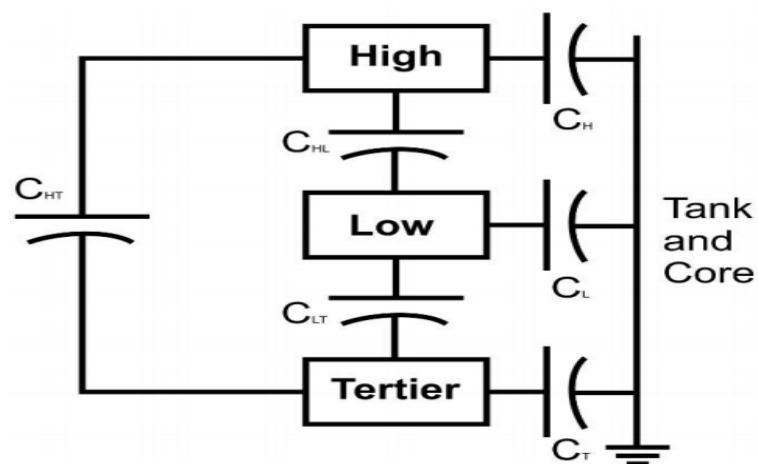
Dalam pengujian tangen delta ada beberapa mode rangkaian pengukuran yaitu :

UST : *Ungrounded Specimen Test* (Uji tidak di ketanahkan)

GST : *Grounded Specimen Test* (Uji di ketanahkan)

GSTg : *Grounded Specimen Test with guard* (Uji terhadap guard)

Rangkaian penyambungan tangen delta :



Gambar 3. Rangkaian ekivalen tangen delta

Perhitungan tangen delta menggunakan rumus sebagai berikut :

$$S = \frac{V^2}{Z} \dots\dots\dots (4)$$

$$Z = \frac{V^2}{S} \dots\dots\dots (5)$$

Mencari Xc :

$$Xc = \frac{V^2}{Q} \dots\dots\dots (6)$$

$$Xc = \frac{1}{\omega C} \dots\dots\dots (7)$$

Dimana, rumus Xc yang di dapat sebagai berikut :

$$Q = \frac{V^2}{Xc} \dots\dots\dots (8)$$

$$Q = \frac{V^2}{\frac{1}{\omega C}} \dots\dots\dots (9)$$

$$Q = V^2 \omega C \dots\dots\dots (10)$$

Sehingga, rumus tan delta sebagai berikut :

$$\tan \delta = \frac{P}{V^2 \omega C} \dots\dots\dots (11)$$

Keterangan :

- δ : Delta
- P : Daya (Watt)
- V : Tegangan (Volt)
- C : Capacitance (F)
- ω : $2\pi f$

Perhitungan hasil pengujian tangen delta GI Wonosari pada tabel.7 CH+CHL :

Diketahui :

- P : 0,9090(Watt)
- V : 10.001 (Volt)
- C : 9775,3 pF = $9775,3 \times 10^{-12}$ F
- ω : $2 \times 3,14 \times 50$

$$\begin{aligned} \tan \delta &= \frac{0,9090}{10.001^2 \times 2 \times 3,14 \times 50 \times 9775,3 \times 10^{-12}} \times 100\% \\ &= 0,29\% \end{aligned}$$

Perhitungan hasil pengujian tangen delta GI Sragen pada tabel.9 CH+CHL :

Diketahui :

P : 0,7900(Watt)

V : 10.001 (Volt)

C : 12906,2 pF = $12906,2 \times 10^{-12}$ F

ω : $2\pi \times 3,14 \times 50$

$$\begin{aligned} \tan \delta &= \frac{0,7900}{10.001^2 \times 2\pi \times 3,14 \times 50 \times 12906,2 \times 10^{-12}} \times 100\% \\ &= 0,19\% \end{aligned}$$

Hasil uji tangen delta menurut literatur Doble dan (buku O&M trafo) trafo dalam kondisi baik jika hasil pengukuran kurang dari 0,5%. Standart nilai uji tangen delta sebagai berikut :

- < 0,5 = Bagus
- < 0,5 - < 0,7 = Mengalami penurunan
- < 0,5 - < 1,0 = Investigasi
- > 1,0 = Buruk

5. Tegangan Tembus Minyak

Tabel 11. Data uji tegangan tembus minyak di GI Wonosari

No	Uraian Kegiatan	Hasil Pengujian (kV)						Rata-rata
		Test suhu :33°	1	2	3	4	5	6
1	Minyak Bawah	40,5	65,4	68,4	71,1	68,2	73,5	64,5
2	Minyak OLTC	57,1	44,4	56,7	58,0	58,5	51,4	54,4

Tabel 12. Data uji tegangan tembus minyak di GI Sragen

No	Uraian Kegiatan	Hasil Pengujian (kV)						Rata-rata
		Test suhu :34°	1	2	3	4	5	6
1	Minyak Bawah	77,5	87,3	85,7	75,3	96,4	96,3	86,4
2	Minyak OLTC	84,8	80,1	86,6	93,9	78,9	87,0	85,2

Perhitungan kekuatan dielektrik minyak trafo menggunakan rumus berikut :

$$E_{rata-rata} = \frac{V_{b(rata-rata)}}{d} (kV/mm) \dots\dots\dots (12)$$

Keterangan :

V_b : Tegangan tembus (kV)

E : Kekuatan dielektrik (kV/mm)

D : Jarak sela (mm)

Hasil perhitungan kekuatan dielektrik minyak trafo 2 GI Wonosari pada suhu 33°C :

$$\begin{aligned}\text{Minyak Bawah} \quad E_{rata-rata} &= \frac{64,5}{2,5} \\ &= 25,8(kV/mm)\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Minyak Oltec} \quad E_{rata-rata} &= \frac{54,4}{2,5} \\ &= 22,76(kV/mm)\end{aligned}$$

Hasil perhitungan kekuatan dielektrik minyak trafo 1 GI Sragen pada suhu 34°C :

$$\begin{aligned}\text{Minyak Bawah} \quad E_{rata-rata} &= \frac{86,4}{2,5} \\ &= 34,56(kV/mm)\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Minyak Oltec} \quad E_{rata-rata} &= \frac{85,2}{2,5} \\ &= 34,08(kV/mm)\end{aligned}$$

Kekuatan dielektrik minyak berbanding lurus dengan nilai tegangan tembus maka jika terjadi kenaikan nilai pada tegangan tembus kekuatan dielektrik juga akan semakin meningkat. Standart nilai pengujian tegangan tembus minyak menurut IEC 60156 sebagai berikut :

Tabel 13. Standart tegangan tembus

Tegangan (kV)	Bagus (kV/mm)	Cukup (kV/mm)	Buruk (kV/mm)
70	> 40	30-40	< 30
150	> 50	40-50	< 40
500	> 60	50-60	< 50

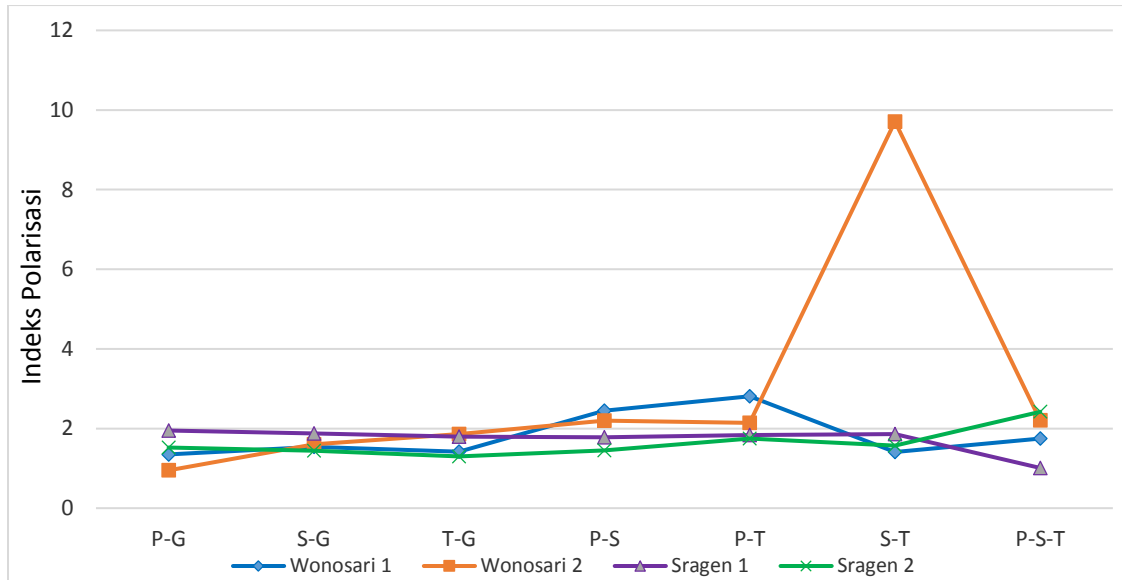
3.3 Analisis Hasil

Berdasarkan pengolahan data pada tabel 1 sampai tabel 12 didapat hasil perhitungan pengujian tahanan isolasi di dua gardu induk yaitu :

1. Gardu Induk Wonosari bay trafo 2, 20 MVA
2. Gardu Induk Sragen bay trafo 1, 60 MVA

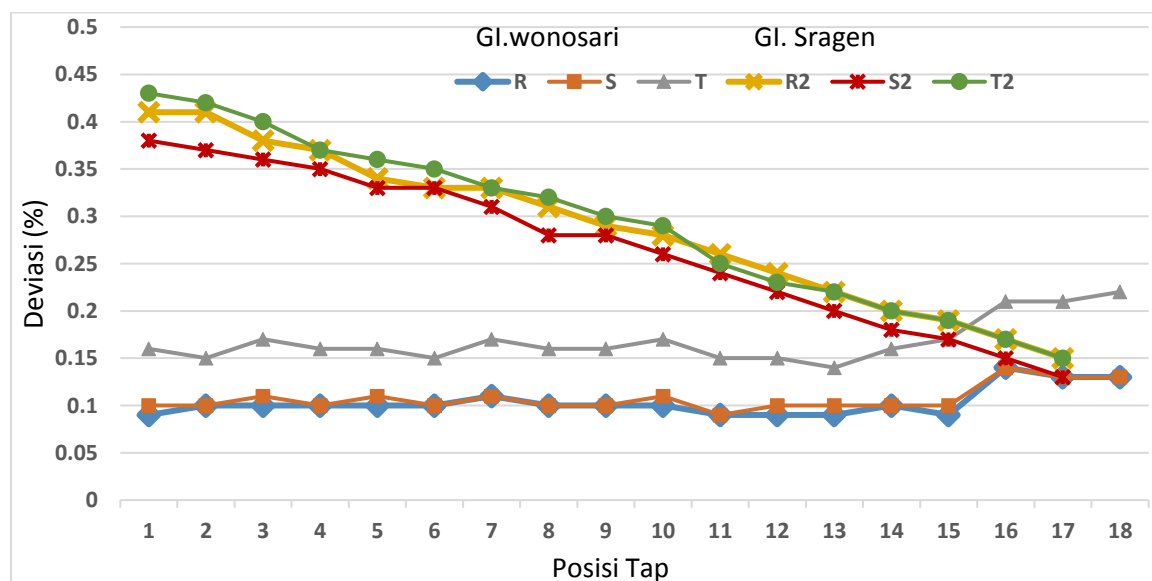
Berdasarkan hasil perhitungan pada tabel 3 dan 4 diperoleh nilai indeks polarisasi transformator di GI Wonosari dari tahun 2015 dan 2017 rata-rata masih bagus. Pada *sekundary-tertier* mengalami kenaikan yang signifikan dari 1,41 menjadi 9,71, tetapi pada *primary-ground* menunjukkan terjadinya pemburukan sebesar 0,95. Hal ini mengindikasikan bahwa transformator dalam keadaan kurang baik, sehingga perlu ditindak lanjuti dengan membersihkan lilitan transformator kemungkinan terjadi kontaminasi apakah transformator kotor, lembab, atau pada

lilitan sudah ada yang bocor. Pada GI Sragen hasil uji indeks polarisasi dari tahun 2014 dan 2018 menunjukkan transformator masih dalam keadaan baik karena hasil ujinya di atas 1,25-2, sehingga tahanan isolasi transformator masih aman untuk di operasikan. Perbandingan hasil pengujian indeks polarisasi di perlihatkan pada gambar 3 sebagai berikut :



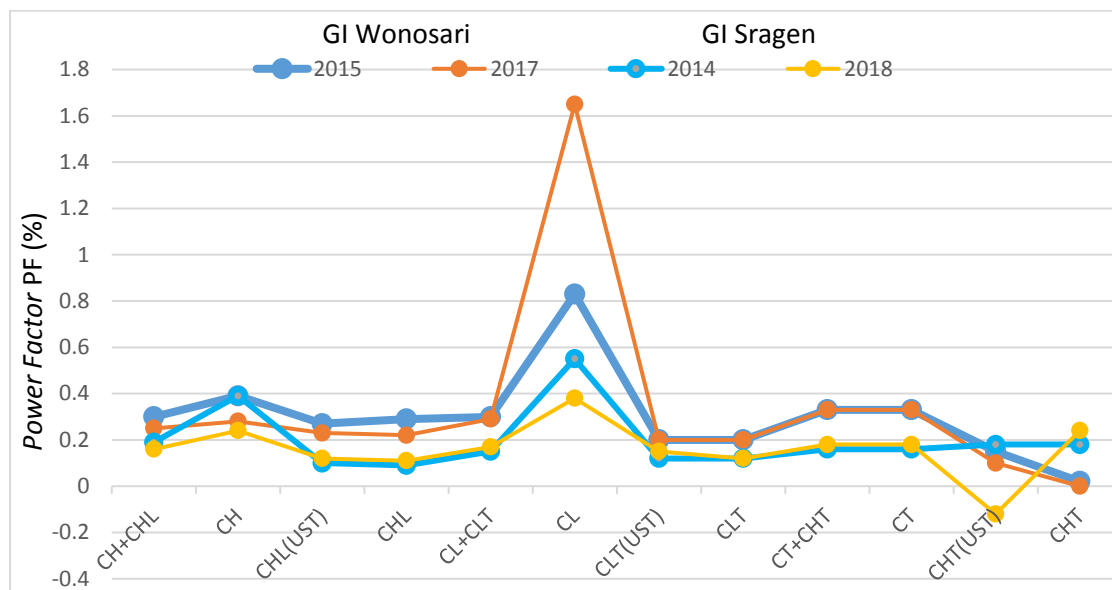
Gambar 3. Grafik hasil pengujian indeks polarisasi

Berdasarkan hasil perhitungan tabel 6 dan 7 diperoleh hasil pengujian rasio tegangan GI Wonosari dan GI Sragen masih dalam keadaan baik. Nilai hasil pengujian rata-rata dibawah 0,5% masih dalam batas standart yang diijinkan menurut IEC 67(1976), sehingga transformator masih layak untuk dioperasikan. Hasil pngujian deviasi rasio tegangan transformator GI Sragen lebih tinggi dari pada GI Wonosari karena jumlah lilitan pada transformator gardu induk sragen lebih banyak sebagaimana diperlihatkan pada gambar 4 sbagai berikkut :



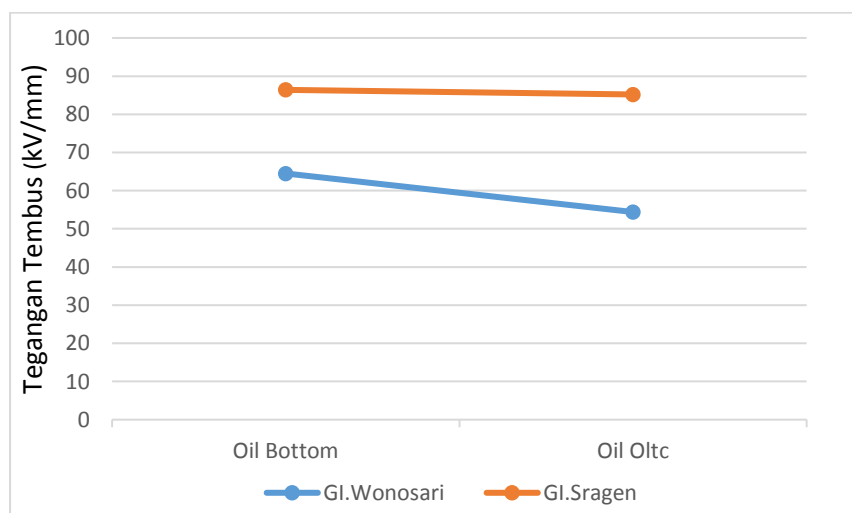
Gambar 4. Grafik hasil pengujian rasio tegangan

Berdasarkan hasil perhitungan pengujian tangean delta pada tabel 7, 8 dan 9, 10 terdapat peningkatan nilai kapasitansi CL dari kedua transformator diperlihatkan pada gambar 5.



Gambar 5. Grafik hasil pengujian tangean delta

Dari hasil di atas dapat disimpulkan bahwa kondisi tahanan isolasi belitan transformator di GI Wonosari dan GI Sragen masih layak untuk dioperasikan namun tetap dalam pengawasan. Hasil pengujian tangean delta rata-rata masih bagus dalam standart yang diijinkan yaitu kurang dari 0,5%, namun ada beberapa pengujian yang melebihi batas yaitu CL dan UST. Pada mode CL menunjukkan terjadinya pemburukan atau kenaikan yang melebihi standart pengujian di GI Wonosari sebesar 0,83-1,65% dan di GI Sragen sebesar 0,55%. Pada mode UST di GI Sragen mengalami pemburukan tangean delta negatif di tahun 2018 sebesar -0,12%. Hal ini dapat disebabkan karena adanya kontaminasi atau terjadinya kebocoran arus pada isolasi belitan transformator, sehingga perlu investigasi lanjut agar tidak terjadi pemburukan pada pengujian lainnya.



Gambar 6. Grafik hasil pengujian tegangan tembus minyak

Berdasarkan hasil pengujian pada gambar 6 di atas dapat disimpulkan bahwa minyak pada transformator GI Wonosari dan GI Sragen masih dalam keadaan bagus dan layak untuk dioperasikan. Hasil rata-rata pengujian masih di atas 40 kV sesuai batas yang diijinkan menurut IEC 60156. Nilai tagangan tembus minyak sangat mempengaruhi kualitas kekuatan dielektrik atau ketahanan isolasi. Kekuatan dielektrik minyak berbanding lurus dengan nilai tegangan tembus maka jika terjadi kenaikan nilai tegangan tembus, kekuatan dielektrik semakin bagus.

4. PENUTUP

Berdasarkan hasil penelitian pengujian tahanan isolasi transformator daya di Gardu Induk Wonosari dan Gardu Induk Sragen dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Kedua transformator masih dalam kondisi normal dan layak untuk dioperasikan.
2. Transformator di Gardu Induk Sragen mempunyai kualitas tahanan isolasi yang masih bagus hanya mengalami pemburukan pada pengujian tangen delta CL sebesar 0,55% dan UST sebesar -0,12%.
3. Transformator di Gardu Induk Wonosari menunjukkan terjadinya pemburukan pada pengujian tangen delta CL sebesar 0,83-1,65% dan indeks polarisasi di *primary ground* sebesar 0,95.
4. Hasil pengujian rasio tegangan masih bagus nilai rata-rata dibawah 0,5% dari rasio tegangan *name plate* sesuai dengan standart yang diijinkan.
5. Rata-rata hasil pengujian tegangan tembus minyak masih dalam kondisi bagus yaitu di atas 40 kV/mm.

PERSANTUNAN

Dalam kesempatan ini Penulis mengucapkan terimakasih atas terselesainya dalam pembuatan tugas akhir ini kepada:

1. *Allah S.W.T* yang telah memberikan rahmat dan hidayahnya kepada penulis sehingga penulis masih diberi kesehatan, waktu dan kelancaran dalam menyelesaikan studi pendidikan sarjana strata S1.
2. Kepada kedua orang tua yang telah mendoakan dan memberikan nasihat yang bermanfaat sehingga penulis tetap semangat untuk menjadi orang yang sukses.
3. Kepada Anisa Diyah serta saudara yang telah memotivasi dan memberikan dukungan dan semangat.

4. Kepada bapak Agus Supardi S.T.,M.T selaku pembimbing yang telah membimbing hingga terselesainya pembuatan tugas akhir.
5. Kepada bapak Sumadi selaku *supervisor* di Gardu Induk Wonosari yang telah memberikan bimbingannya dalam pengambilan data untuk pembuatan tugas akhir.
6. Kepada bapak Sukari selaku *supervisor* di Gardu Induk Sragen yang telah memberikan bimbingannya dalam pengambilan data untuk pembuatan tugas akhir.
7. Kepada teman-teman angkatan 2014 Teknik Elektro yang telah memberikan semangat dan membantu dalam terselesainya tugas akhir ini.

DAFTAR PUSTAKA

- A. R. Demmassabu, dkk. (2014). *Analisa kegagalan transformator daya berdasarkan hasil uji DGA dengan metode tdcg, key gas, roger's ratio, duval's triangle pada gardu induk*. ISSN 2301-8402. e-Jurnal Teknik Elektro dan Komputer.
- André P. Marques, dkk. (2017). *Insulation Resistance of Power Transformers – Method for Optimized Analysis*. IEEE International Conference on Dielectric Liquids (ICDL).
- Mahardika, Aрга., Bambang, Winardi., & Abdul, Syakur. (2017). *Perbaikan parameter dielektrik (tegangan tembus, $\tan \delta$, resistivitas dan water content) minyak isolasi transformator dengan metode purifikasi (boiling) pada suhu 26°C-100°C*. ISSN 2302-9927,185 .TRANSIENT, Vol.6, No. 2.
- Mustafa, Fajli., Muhammad, Ihsan., & Shaga, Saulagara. (2017). *The through fault current effect of 150/20 kV transformer to its insulation resistance and tan delta test in PT. PLN (Persero) TJBB APP Durikosambi*. International Conference on High Voltage Engineering and Power System. 978-1-5386-0945-3/17 IEEE . Bali, Indonesia.
- Persero, PT PLN. (2006). *Buku pelatihan o&m Transformator Tenaga*, Semarang.
- Setyowibowo, Arif. *Pengujian tangen delta trafo dan bushing kasus khusus tangen delta negatif*. PT PLN (Persero) P3B Jawa Bali
- Sinclair, Noel. (2015). *Investigating the relationship between light transmittance, dissipation factor ($\tan \alpha$) and transformer oil quality*. Fort Lauderdale, Florida.
- Singh, Shrikant., Ambuj, Kumar., R.K. Jarial., & Sunil, Kumar. (2015). *Dielectric response analysis and diagnosis of oil-filled power transformers*. 978-1-4678-6503-1/15/ IEEE. Shillong, India.